

Этап 4

Проведено численное моделирование процесса синтеза многослойных углеродных нанотрубок (МУНТ) из биоэтилена в реакторе с псевдооживленным слоем на лабораторном стенде (ЛСМУНТ). С учетом максимальной высоты слоя МУНТ и требований ТЗ к количеству примесей в конечном продукте, была определена оптимальная область значений «масса исходных МУНТ – масса катализатора» и рассчитаны средняя конверсия углеродсодержащего газа, время достижения минимально заданной конверсии этилена и величина производительности реактора на единицу площади сечения реактора. Показано, что совокупность этих параметров обеспечивает получение максимального количества МУНТ в реакторе ЛСМУНТ при допустимом содержании катализатора в продукте. Из сопоставления экспериментальных данных и расчетов по математической модели получено, что наилучшая точность описания и наименьшие относительные отклонения расчетных и экспериментальных величин достигаются при использовании дробного, в виде трёх последовательных порций, режима ввода катализатора в реактор ЛСМУНТ. При этом выполняются требования ТЗ (п.4.3.1.3.2) к разработанной модели. Установлено, что вычисляемые с использованием математической модели каталитического процесса синтеза МУНТ в реакторе с псевдооживленным слоем ЛСМУНТ параметры технологического процесса соответствуют измеряемым параметрам в пределах допустимых отклонений.

Наработаны экспериментальные образцы электроизолирующих полимер-наноуглеродных композиционных материалов (ПНКМ) на основе концентрата МУНТ/ПЭ общей массой 960 г на основе двух рецептур электроизолирующих ПНКМ для кабелей среднего напряжения. Нарботанные экспериментальные образцы №1 и №2 электроизолирующих ПНКМ на основе концентрата МУНТ/ПЭ содержат, соответственно, 0,8% и 0,6% МУНТ, что соответствует требованиям технического задания по проекту.

Проведены испытания и измерены характеристики экспериментальных образцов электроизолирующих ПНКМ на основе концентрата МУНТ/ПЭ. Установлено, что достигнут удовлетворительный уровень электрохимического старения электроизолирующего материала, а его технические характеристики соответствуют значениям, предусмотренным техническим заданием проекта, а также требованиям национальной нормативной базы для изоляции кабелей среднего напряжения.

Наработаны экспериментальные образцы высокостойких ПНКМ на основе концентрата МУНТ/СВМПЭ, общей массой 340 г с применением различных методик. Нарботанные экспериментальные образцы высокостойких ПНКМ на основе концентрата МУНТ/СВМПЭ ПНКМ-1, ПНКМ-2, ПНКМ-3 и ПНКМ-4 содержат от 1,0 до 10,0% масс. МУНТ (остальное – полиэтилен СВМПЭ), что удовлетворяет требованиям технического задания по проекту.

Проведены испытания экспериментальных образцов высокостойких ПНКМ на основе концентрата МУНТ/СВМПЭ с измерением всех характеристик, предусмотренных техническим заданием. Установлено, что экспериментальные образцы ПНКМ обладают высокими антистатическими свойствами, обеспечивают повышение устойчивости к солнечной радиации, обладают радиопоглощающими свойствами, обладают антиударными и демпфирующими свойствами; по своим характеристикам соответствуют всем значениям, предусмотренным техническим заданием проекта.

Новизна результатов

Впервые с применением методов математического моделирования найдены оптимальные условия технологических режимов получения биоэтилена, а на его основе – углеродных нанотрубок; режимы разработаны, спрогнозированы и подтверждены результатами работы на экспериментальных стендах ЛСБЭ и ЛСМУНТ.

Впервые получены и испытаны не уступающие импортным аналогам экспериментальные образцы электроизолирующих ПНКМ для кабелей среднего напряжения, имеющие повышенную стойкость к электрохимическому старению.

Впервые получены и испытаны экспериментальные образцы высокостойких ПНКМ для различных применений, в частности, образцы, обладающие высокой стойкостью к ультрафиолетовому излучению, имеющие высокие антистатические свойства, обеспечивающие радиопоглощающие свойства при минимальном уровне потерь, с высокими антиударными и демпфирующими характеристиками.

Все работы, запланированные к выполнению на этапе № 4 проекта, выполнены в полном объеме. Полученные результаты полностью соответствуют требованиям технического задания и плана-графика по Соглашению о предоставлении субсидии № 14.607.21.0046.

Полученные на этапе № 4 проекта результаты находятся на уровне лучших мировых работ аналогичного направления.

Руководитель работ по проекту, главный научный сотрудник ИК СО РАН, д-р хим. наук В.А. Захаров